

## U-Pb ВОЗРАСТ И Lu-Hf ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ЦИРКОНОВ ИЗ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ ДАЦИТОВ АНДЕЗИТ-ДАЦИТОВОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО УРАЛА

Червяковский В.С.<sup>1</sup>, Червяковская М.В.<sup>1</sup>, Волчек Е.Н.<sup>1</sup>, Слободчиков Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Субвулканические образования, относимые к андезит-дацитовому комплексу, на востоке Среднего Урала прослеживаются с севера на юг от р. Синячихи до р. Синары. Они в разном количестве присутствуют на многих участках рассматриваемой территории. Среди них есть тела небольших размеров (от первых метров до нескольких десятков метров по мощности) и крупные тела (до 400 м по мощности и 4 км по простиранию). Наиболее широко распространены жильные тела порфировых андезибазальтов, андезитов и дацитов [Смирнов, Коровко, 2007]. Они занимают секущее положение в разрезе вулканических пород, стратифицированных в составе верхней части рудянской толщи среднего девона (D<sub>2</sub>rd).

Их формирование связано с вулканической деятельностью, происходившей в морских условиях на небольших глубинах или в пределах вулканических островов, в обстановке близкой к современным островным дугам [Смирнов, Коровко, 2007]. Однако геохимические и изотопные данные, являющиеся весомыми аргументами в решении вопросов пегрогенезиса и палеогеодинамической обстановки формирования, для субвулканических образований до настоящего времени отсутствовали.

Нами получены результаты U-Pb датирования методом лазерной абляции (LA-ICP MS) цирконов из дацитов субвулканического тела, расположенного в южной части Восточной зоны Среднего Урала и изучен их Lu-Hf изотопный состав.

Все аналитические исследования были выполнены в центре коллективного пользования «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург (ЦКП «Геоаналитик»). Аналитические данные по изотопному составу U-Pb и Lu-Hf-систем получены с использованием масс-спектрометрии (МС) с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) и лазерной абляцией (ЛА) проб. U-Pb датирование цирконов выполнено на квадрупольном ИСП-МС NexION 300S с приставкой для ЛА NWR 213, анализ его Lu-Hf-изотопной системы выполнен на многоколлекторном ИСП-МС Neptune Plus с приставкой для ЛА NWR 213; использованное оборудование размещено в помещении класса чистоты 7 ИСО. Процедура измере-

ния Pb/U-изотопных отношений и алгоритм расчета возраста изложены в [Зайцева и др., 2016] при диаметре кратера 25 мкм. Следуя [Giovannardi, Lugli, 2017; Зайцева, Вотьяков, 2017], расчет изотопных отношений Lu/Hf, Hf/Hf, а также значений  $\epsilon(\text{Hf})$  и модельного возраста выполнен с использованием макроса Excel Hf-INATOR при диаметре кратера 25 мкм. Основным критерием оптимизации (правильности) подобранных параметров служила согласованность полученных значений с базой данных GeoREM и литературными источниками для используемых стандартных образцов циркона. U-Pb возраст для стандартов GJ-1 и Plesovice равен  $601 \pm 2$  (1 $\sigma$ ) и  $338 \pm 2$  (1 $\sigma$ ) млн.лет, соответственно, в рамках данной измерительной сессии. Средневзвешенное значение изотопного отношения  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  для стандартов GJ-1, Plesovice и Mud Tank составило  $0.282038 \pm 0.000030$ ,  $0.282454 \pm 0.000043$  и  $0.282500 \pm 0.000055$ , соответственно, в рамках данной измерительной сессии.

Обнажение дацитов находится на левобережье р. Пышмы. В них наблюдается столбчатая отдельность, имеющая пологие углы падения столбов. По внешнему облику дациты представляют собой плотные породы темно-серого цвета. Структура их порфировая, вкрапленники кварца и плагиоклаза погружены в микролитовую основную массу. Плагиоклаз зональный, замещается пренитом, частично пелитизирован. Единичные кристаллы роговой обманки и биотита замещены хлоритом. Из акцессорных минералов присутствуют циркон и апатит.

Дациты относятся к серии нормальной щелочности ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 5.36$  мас. %), содержание  $\text{K}_2\text{O}$  в них составляет 0.65 масс. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 15.62 масс. %. Для них характерен пологий спектр распределения РЗЭ, наблюдается незначительное обогащение легкими редкими землями ( $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 1.89$ ), отношение  $\text{Eu}_n/\text{Eu}_n^* = 0.79$ . На графике распределения редких элементов, нормированных по примитивной мантии, наблюдаются максимумы по Th, K, Ba, Sr, проявлен Ta и Nb минимум. Такие геохимические особенности характерны для надсубдукционных образований.

Изученные цирконы представлены прозрачными бесцветными кристаллами, иногда с лёгкой бурой

Таблица 1. Lu-Hf изотопные данные для цирконов из субвулканических дацитов андезит-дацитового комплекса восточной зоны Среднего Урала

N	Age (Ma) <sup>1</sup>	<sup>176</sup> Yb/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Lu/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf	<sup>178</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf	$\epsilon_{\text{Hf}(0)}$	$\epsilon_{\text{Hf}(0)}^2$	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf <sub>i</sub> <sup>3</sup>
2	397	0.0535	0.00173	0.282847	1.4673	2.6	10.5	0.282834
3	374	0.0502	0.00153	0.282766	1.4672	-0.2	8.1	0.282756
4	449	0.0466	0.00143	0.282855	1.4674	2.9	12.3	0.282843
4_1	449	0.0541	0.00171	0.282797	1.4672	0.9	10.5	0.282783
10	389	0.0426	0.00135	0.282770	1.4673	-0.1	8.4	0.282760
11	410	0.0302	0.00093	0.282844	1.4672	2.5	11.0	0.282837
14	443	0.0792	0.00240	0.282918	1.4674	5.2	14.2	0.282898
15	358	0.0635	0.00196	0.282690	1.4675	-2.9	3.4	0.282677
16	414	0.0594	0.00185	0.282859	1.4672	3.1	11.7	0.282845
17	350	0.0599	0.00194	0.283095	1.4672	11.4	17.9	0.283082
19	428	0.0588	0.00183	0.282873	1.4673	3.6	12.5	0.282858
20	368	0.0401	0.00122	0.282883	1.4676	3.9	11.7	0.282874
21	403	0.0680	0.00212	0.282722	1.4674	-1.8	6.2	0.282706
23	383	0.0618	0.00191	0.282781	1.4673	0.3	8.2	0.282768
28	381	0.0589	0.00244	0.282546	1.4668	-8.0	-1.0	0.282529
29	372	0.0740	0.00296	0.282607	1.4663	-5.8	1.6	0.282587
38	371	0.0518	0.00236	0.282896	1.4675	4.4	12.0	0.282879
41	439	0.0326	0.00154	0.282785	1.4670	0.5	9.5	0.282772
42	375	0.0338	0.00159	0.282801	1.4672	1.0	8.9	0.282790

Примечание:

<sup>1</sup> – возраст, полученный по изотопному отношению <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U;<sup>2</sup> – рассчитано с использованием значений <sup>176</sup>Lu/<sup>177</sup>Hf=0.0332 и <sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf=0.282772;<sup>3</sup> – первичное отношение изотопов гафния, рассчитанное на возраст <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U млн. лет, с использованием константы распада <sup>176</sup>Lu  $\lambda = 1.867 \cdot 10^{-11}$ .

окраской. Размеры зёрен варьируют от 70 до 200 мкм. В ограненных кристаллах хорошо развиты грани {100} и {110}. Встречаются также зерна произвольной формы с неровными очертаниями. Предполагается, что такая форма кристаллов, а также наличие изометричных углублений на их поверхностях может быть связана с влиянием щелочной среды [Краснобаев, 1986]. Съёмка облика цирконов проведена на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390L фирмы Jeol. Большинство цирконов характеризуется наличием твердофазных минеральных включений, представленных апатитом, размеры которого колеблются от 10 до 40 мкм. Цирконы имеют различные микротрещины, которые прослеживаются как на поверхности кристаллов, так и на их срезах. На BSE-изображениях и катодолюминесцентных изображениях срезов цирконов отлично видна характерная зональность строения цирконов, а также трещиноватость. Затемненные участки катодолюминесцентных изображений связаны с разрушением кристаллов вблизи трещин, а также с твердофазными

включениями. Катодолюминесцентные изображения получены на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX100.

U-Pb возраст цирконов из дацитов составил  $389 \pm 5.6$  млн лет при СКВО = 1.3, что соответствует среднему девону. Нами получены первые Lu-Hf изотопные данные (табл. 1). Как известно, изотопия гафния является отличным способом для определения источника магматических пород [Fujimaki, 1986; Patchett et al., 1981].

Как видно из таблицы,  $\epsilon_{\text{Hf}}$  в основном соответствует составу деплетированной мантии. Значительные вариации начальных изотопных составов Hf и снижение  $\epsilon_{\text{Hf}}$  могут объясняться изменением состава расплава в процессе кристаллизации и образованием циркона из магм с различным изотопным составом гафния [Недосекова и др., 2016].

Таким образом, установлено, что исследованные вулканы комплекса формировались в среднем девоне в островодужной надсубдукционной обстановке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцева М.В., Вотяков С.Л. К методике определения U-Pb-возраста и анализа Lu-Hf-изотопной системы циркона методом ЛА-ИСП-МС // Ежегодник-2016, Тр. ИГГ УрО РАН. 2017. Вып. 164. С. 284-289.
2. Зайцева М.В., Пупышев А.А., Щапова Ю.В., Вотяков С.Л. U-Pb датирование цирконов с помощью квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой NexION 300S и приставки для лазерной абляции NWR 213 // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20, № 4. С. 294-306 DOI: 10.15826/analitika.2016.20.4.006.
3. Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986.
4. Недосекова И.Л., Беляцкий Б.В., Белоусова Е.А. Редкие элементы и изотопный состав гафния как индикаторы генезиса циркона при эволюции щелочно-карбонатитовой магматической системы (ильмено-вишневогорский комплекс, урал, россия) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 6. С. 1135—1154 .
5. Смирнов В.Н., Коровко А.В. Палеозойский вулканизм восточной зоны Среднего Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Сборник научных трудов. 2007. С. 395-420.
6. Fujimaki H. Partition coefficients of Hf, Zr, and REE between zircon, apatite, and liquid // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1986. № 94. P. 42–45.
7. Giovanardi T., Lugli F. The Hf-INATOR: A free data reduction spreadsheet for Lu/Hf isotope analysis // Earth Science Informatics. 2017. P. 1-7.
8. Patchett P.J., Kouvo O., Hedge C.E., Tatsumoto M. Evolution of continental crust and mantle heterogeneity: evidence from Hf isotopes // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1981. № 78. P. 279–297.